

1.05.06 – Física dos Flúidos, Física de Plasmas e Descargas Elétricas.

TAMANHO E VELOCIDADE DE BURSTS NO TEXAS HELIMAK

Théo L. Meireles^{1*}, Zwinglio O. Guimarães-Filho²

1. Estudante do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IF-USP)
2. Professor do IF-USP - Departamento de Física Aplicada/Orientador

Resumo

Este trabalho descreve o estudo da turbulência que surge na borda da coluna de plasma em dispositivos de confinamento magnético, como os tokamaks. Nessa região são observadas estruturas coerentes de alta densidade (comparado ao valor médio da densidade local), chamadas de bursts, que se propagam de forma convectiva. Dado este comportamento são responsáveis por uma perda de partículas consideravelmente maior que o esperado considerando apenas efeitos difusivos, tendo por consequência a degradação da qualidade do confinamento do plasma.

Utilizando um modelo fenomenológico e um uso não convencional do método dos mínimos quadrados foi possível determinar a relação entre o tamanho e a velocidade dos bursts. Os resultados obtidos levantam dúvidas quanto à validade da premissa de que a quebra dos bursts em estruturas menores faz com que essas se propaguem mais lentamente, melhorando o confinamento.

Palavras-chave: Plasmas; Tokamak; magneto-hidrodinâmica.

Apoio financeiro: PIBIC-CNPq.

Trabalho selecionado para a JNIC: IF-USP.

Introdução

A magneto-hidrodinâmica (MHD) é um campo muito vasto dentro da física que permeia diversas áreas. Este estudo auxilia na compreensão, por exemplo, de fenômenos astronômicos, mas também permite descrever sistemas mais práticos como a deposição de filmes finos ou como é o caso deste trabalho a dinâmica de plasmas confinados magneticamente, cuja principal aplicação se dá nos reatores de fusão.

Um dos dispositivos mais eficientes para o trabalho com plasmas confinados magneticamente são os Tokamaks. Estes dispositivos são compostos basicamente de uma cavidade toroidal na qual o plasma é confinado por campos magnéticos criados por um arranjo de bobinas e pela própria corrente elétrica que se forma no plasma.

Mais do que uma ferramenta para o estudo de fenômenos magneto-hidrodinâmicos, os tokamaks vêm sendo estudados também com o intuito de realizar o processo de fusão nuclear de maneira controlada, de modo que possamos utilizar estes dispositivos futuramente como fontes de energia. No entanto, ainda existem dificuldades para realizar e manter a fusão, a exemplo do próprio confinamento magnético. Devido a turbulência e a colisões de partículas o plasma perde muita energia e a reação acaba por não conseguir se manter.

Na borda do plasma nesses dispositivos, a maior contribuição para a perda de partículas é devida à turbulência. Nessa região são observadas estruturas coerentes, ou seja, que possuem um comportamento médio em comum, denominadas bursts. Essas estruturas têm uma densidade mais elevada que o resto do plasma naquela região e devido a seu comportamento convectivo têm grande influência sobre o transporte de partículas para fora da coluna de plasma.

Para desenvolver este trabalho usamos dados advindos do Texas Helimak. Este dispositivo foi desenvolvido para estudar as condições existentes na borda do plasma, justamente a região que estamos interessados devida a presença dos bursts. Outra característica do Helimak é que ele possui um grande arranjo matricial de sondas eletrostáticas que fazem as medidas locais da turbulência, o que nos permite obter informações a respeito do formato e da propagação dos bursts.

Neste trabalho apresentamos a análise da relação entre a velocidade e o tamanho dos bursts, visando um melhor entendimento da dinâmica do transporte de partículas na região da borda do plasma. Aqui cabe ressaltar que neste trabalho o termo tamanho refere-se não ao tamanho geométrico, mas sim ao tamanho da perturbação do plasma associado aos bursts.

Metodologia

Nos dados do Texas Helimak temos a posição radial e vertical das 96 sondas eletrostáticas. Destas, selecionamos um subconjunto de 25 que compõem um arranjo matricial de 5x5 sondas e analisamos a

corrente de saturação (I_s) medida ao longo da condição estacionária de descargas de plasma.

Interessados no tamanho da perturbação presente na densidade local do plasma, analisamos o sinal de corrente de saturação, que é diretamente proporcional a densidade do plasma na posição da sonda. Sendo assim, é equivalente trabalhar com a densidade ou com o sinal normalizado pela incerteza.

Normalizado o sinal, precisamos descobrir ao longo das séries temporais em quais instantes há um burst passando pela sonda. Para caracterizar um burst se usou dois critérios, ser um máximo local (pico) e estar a pelo menos 3 desvios padrões acima da média do sinal, como mostrado na Figura 1.

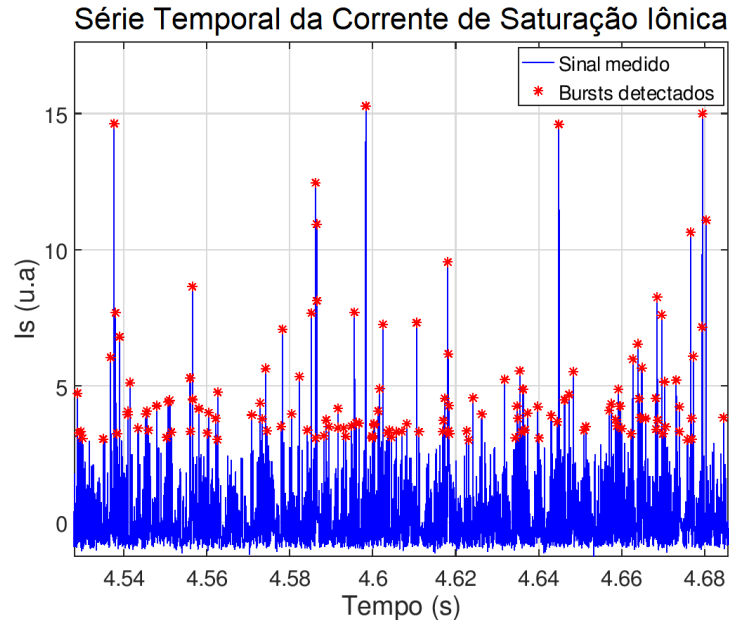


Figura 1 - Série temporal da corrente de saturação iônica (proporcional à densidade local) indicando a presença de bursts (picos vários desvios-padrões acima do valor médio), indicados por marcas vermelhas.

Como os bursts são estruturas coerentes se busca compreender o comportamento médio e não o individual. Então foi usado uma média condicional para obtermos, a partir dos bursts medidos, o sinal médio dos bursts em cada sonda.

Para este estudo é interessante vermos a forma bidimensional dos bursts. Assim, em vez de obter o sinal médio dos burst em cada sondas do arranjo, obtemos este sinal somente para a central, que se torna a referência. Para as outras, vemos a média dos sinais medidos nos mesmos instantes em que os bursts são detectados na referência, assim, obtemos o formato bidimensional médio dos bursts. Fazendo isso para tempos anteriores e posteriores a detecção dos bursts na referência verifica-se a propagação da estrutura como se pode ver na Figura 2.

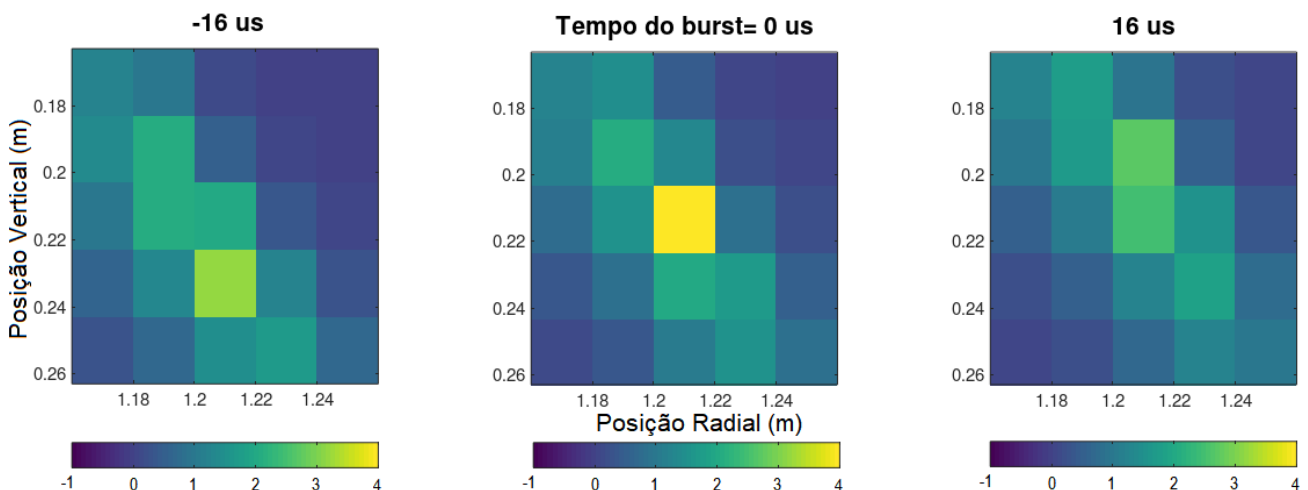


Figura 2 - Representações bidimensionais da média condicional do sinal no arranjo de 5x5 sondas em termos do tempo em que o burst é detectado na sonda central.

Essa noção é apenas qualitativa. Para obter informações quantitativas fazemos um ajuste de uma lorentziana

bidimensional (segundo o proposto na referência 2) pelo método dos mínimos quadrados, de modo a obter a posição dos bursts. A Figura 3 apresenta um exemplo de ajuste para o tempo em que os bursts são detectados na sonda central.

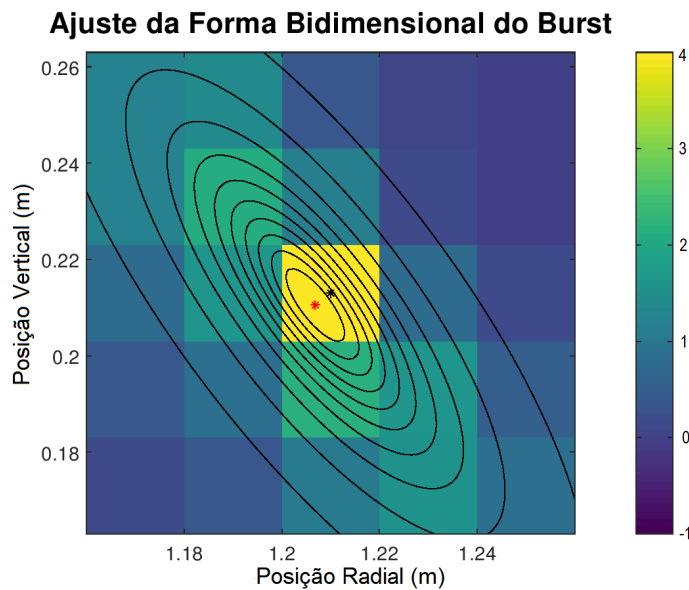


Figura 3 - Exemplo de ajuste da forma bidimensional do burst. O asterisco preto indica a sonda de referência e o vermelho o centro do burst.

Para obter a velocidade média dos bursts em vez de fazermos o ajuste bidimensional para cada tempo e obter a posição para então achar a velocidade, o que fizemos foi ajustar o filme como um todo, incluindo no modelo as componentes horizontal e vertical da velocidade de propagação do burst médio. Para relacionar a velocidade com o tamanho do burst, o processo foi feito para o sinal calculado com bursts de diferentes intervalos de amplitude, obtendo a velocidade média para cada grupo de amplitudes.

Resultados e Discussão

A análise é feita sobre o conjunto de dados advindo de 3 diferentes disparos do Helimak, cada um destes possui uma diferente tensão de polarização aplicada na máquina (bias) [3], sendo elas 0, 8 e 14V. Um fato importante a se ressaltar é que para todas as análises utilizou-se o mesmo arranjo de sondas, ou seja, foram observados bursts na mesma região do equipamento.

Nas análises os bursts de cada disparo foram divididos em 4 intervalos de amplitude relativa: de 3 a 4, de 4 a 6, de 6 a 10 e de 10 a 16 desvios padrões acima da média da corrente de saturação medida na sonda central. O tamanho do intervalo aumenta com a amplitude dos bursts pois, como verificamos, a distribuição de intensidade dessas estruturas é aproximadamente exponencial.

Ao obter a velocidade para o burst médio de cada um desses grupos de amplitude para os diferentes bias obtêm-se os gráficos das componentes da velocidade em termos da amplitude média mostrados na Figura 4.

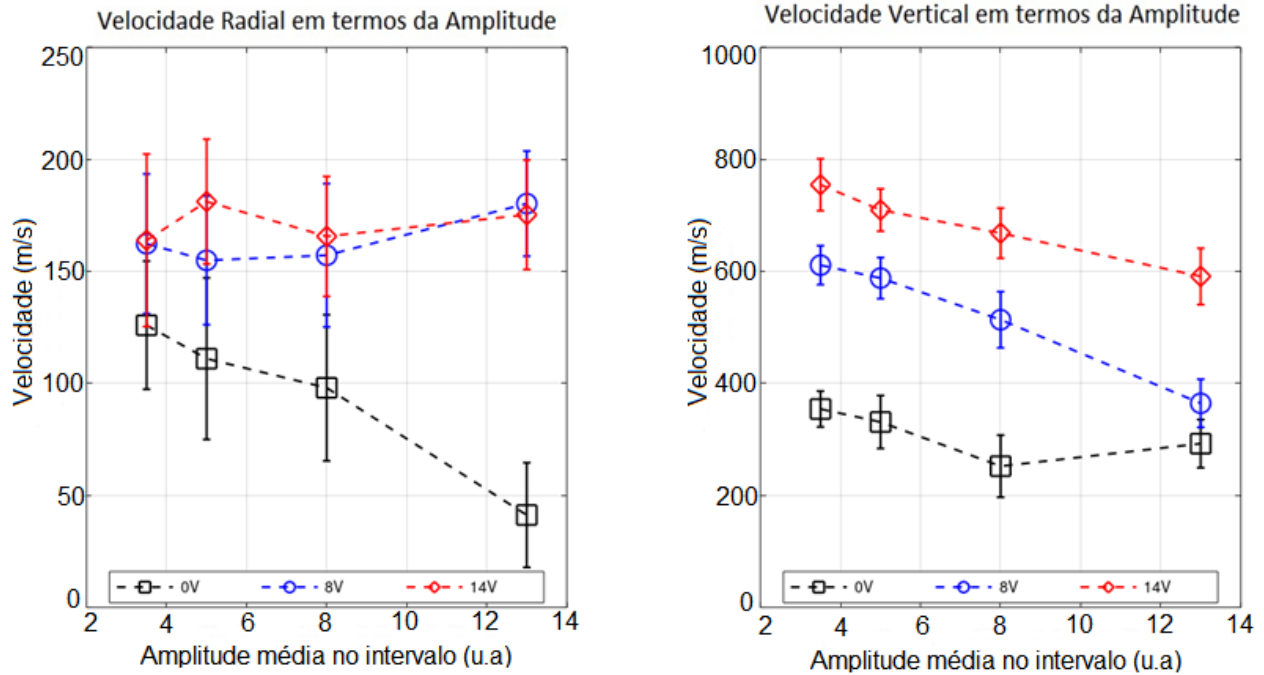


Figura 4 - Relação entre as componente radial e vertical da velocidade de propagação dos bursts em termos da amplitude. As curvas correspondem a descargas de plasma com diferentes tensões de polarização (bias).

Já em uma primeira observação é possível verificar que as velocidades radiais para esses disparos com bias positivos parecem não possuir uma diferença muito grande entre si, em contrapartida as velocidades verticais apresentam uma clara diferença, aumentando com o aumento da tensão de polarização (bias). Esta observação é compatível com os resultados apresentados na referência 2.

Conclusões

De maneira geral, o método empregado se mostrou eficiente em determinar a relação entre a velocidade e o tamanho (amplitude) dos bursts. Além disso, o uso não convencional do método dos mínimos quadrados utilizado pode servir de inspiração para outros trabalhos que lidam com modelos fenomenológicos.

Ainda uma outra observação importante é que, apesar das incertezas associadas às velocidades serem muito grandes, de modo que não se pode concluir uma clara relação de proporcionalidade entre as grandezas estudadas neste trabalho, fica claro que não existe uma tendência de redução da velocidade para uma diminuição do tamanho dos bursts. Este é um resultado interessante, pois a hipótese considerada em algumas estratégias de melhora do confinamento do plasma [4], considera que quebrar os bursts em estruturas menores deve reduzir a velocidade de propagação e melhorar o confinamento do plasma.

Referências bibliográficas

- 1- F.A.C. Pereira *et al.*, *Burst propagation in Texas Helimak*, Plasma Phys. Control. Fusion **58** (2016) 054007.
- 2- D.L. Toufen *et al.*, *Electrostatic turbulence intermittence driven by biasing in Texas Helimak*, Phys. of Plasmas **21** (2014) 122302.
- 3- D.L. Toufen, *Controle da turbulência em plasmas*, Dissertação de mestrado - IFUSP, São Paulo, USP/IF/SBI—090/2012
- 4 - H. Biglari *et al.*, *Influence of sheared poloidal rotation on edge turbulence*, Phys. Fluids B: Plasma Phys. **2** (1990) 1.